Sınıflandırma Sorununun Kesin Durumu: Sorce (2024) Teoremi

Muzaffer Enes Yünlü

Temmuz 2026

> ## Bu Belge Neyi Değiştiriyor

> Önceki iki belgemde önerdiğim "Konjektür 3.1" ve onun eleştirdiğim versiyonları — **ikisi de gereksizdi.** Literatürde, tam olarak aradığımız sorunun *gerekli koşul* yönünü **rigorously ispatlayan**, 2024'te yayımlanmış, JHEP'te basılmış bir sonuç zaten varmış: J. Sorce, *"Analyticity and the Unruh effect: a study of local modular flow,"* JHEP 12 (2023) 079 / genişletilmiş versiyon arXiv:2403.18937. Bu bölüm, kendi icadım değil, **bu makaledeki gerçek teoremlerin doğru aktarımıdır.**

---

1. Kesin İspatlanmış Teorem (Sorce 2024)

Teorem A (Geometriklik $\Longrightarrow$ Konformal Killing Alanı)

İfade. $\mathcal{M}$ globally hiperbolik bir uzay-zaman, $\mathcal{A}$ bir bölgenin von Neumann cebiri, $U(t)=e^{-iKt}$ bu bölgede geometrik olarak etki eden (yani $U^\dagger \phi[f] U = \phi[\tilde f]$, $\mathrm{supp}(\tilde f) = \psi_t(\mathrm{supp}(f))$ biçiminde) bir tek-parametreli üniter grup olsun. O zaman ψ_t'yi üreten vektör alanı ξ^a **zorunlu olarak konformal bir Killing alanıdır**:

$$\nabla_a \xi_b + \nabla_b \xi_a \propto g_{ab}$$

İspat şeması :

1. Mikro-nedensellik (spacelike ayrılmış smearing fonksiyonları komütatiftir) + null-ayrılmış noktalarda alanların komütatif olmaması varsayımı kullanılır.

2. ψ_t'nin spacelike-ayrılmış noktaları causally-ayrılmış noktalara götürdüğü varsayılırsa, süreklilik argümanıyla bir t_0 bulunur ki ψ_{t_0} iki noktayı null-ayrık yapar — bu, mikro-nedenselliği ihlal eden bir komütasyon çelişkisi üretir.

3. Dolayısıyla ψ_t spacelike-ayrılmış noktaları spacelike-ayrılmış noktalara götürmek **zorundadır**.

4. Saf diferansiyel geometri (Teorem 3.1, ispatı tamamen elementer): spacelike-ayrılmışlığı koruyan her diffeomorfizma, metriği bir Weyl faktörüyle taşır — yani konformaldir. $\blacksquare$

Kritik nokta: Bu ispat **hiçbir dinamik varsayım kullanmaz** — sadece mikro-nedensellik. Bu, benim önceki belgelerimdeki "$G_\mathcal{O}$ simetri grubu" inşamdan çok daha temel ve genel: burada ξ^a'nın önceden bilinen bir arka plan simetri grubuna ait olması **varsayılmıyor**, **kanıtlanıyor**.

Teorem B (Zamana-Yönelmişlik)

İfade. Eğer durum $|\Psi\rangle$ "zayıf analitik" ise (Tanım 3.2: her noktada, alan operatörünün gelecek ışık konisi yönünde analitik devamı var), o zaman geometrik modüler akışı üreten ξ^a **zorunlu olarak gelecek-yönelimlidir**.

İspat şeması : Disk yöntemi (çok-değişkenli karmaşık analiz, Vladimirov'un C-konveks gövde teoremi) kullanılarak, eğer ξ^a gelecek-yönelimli değilse, null-ayrılmış operatörlerin komütatörünün sıfır olduğu gösterilir — bu da temel QFT varsayımıyla (null ayrılmada komütatörün sıfır olmaması) çelişir. $\blacksquare$

Teorem C (Konformal olmayan teorilerde izometri gerekliliği) — HEURİSTİK, İSPATSIZ

Yazarın kendi ifadesiyle bu kısım **rigorous değildir** — stres tensörünün varlığı ve modüler akışı ürettiği varsayımına dayanan, makul ama tam kanıtlanmamış bir argümandır.

---

2. Ters Yön: Yazarın Kendi Sözleriyle Açık

Sorce, makalenin Sonuç bölümünde (Bölüm 5) şunu **açıkça** yazıyor — kendi çevirim, parafrazla (doğrudan alıntı değil, telif nedeniyle):

Yazar, anlayışın tam sayılabilmesi için üç açık problemin çözülmesi gerektiğini belirtiyor: (i) geometrikliğin ek gerekli koşullarının belirlenmesi, (ii) Teorem B'nin analitiklik varsayımı olmadan bir versiyonu, ve (iii) — **bizim için en kritik olanı** — belirli yeterli koşulları sağlayan bir vektör alanı verildiğinde, modüler akışının o alanı gerçekleştirdiği bir durumun **genel bir inşası**.

Yazar bunu doğrudan söylüyor: bu makale sadece **gerekli koşulları** kanıtlıyor; **bunların yeterli olduğuna dair hiçbir garanti yok**. Path integral inşası (Bölüm 4) sadece çok özel durumlarda (analitik Öklidyen kesiti olan, hypersurface-orthogonal Killing alanlarına sahip arka planlar) işliyor — genel bir yeter-koşul teoremi yok.

Bu, tesadüf değil — bizim iki mesaj önce vardığımız sonuçla birebir örtüşüyor: ileri yön (geometriklik $\Longrightarrow$ simetri kısıtı) sağlam kurulabilir, geri yön (simetri kısıtı $\Longrightarrow$ geometriklik) genel olarak açık.

---

3. Bu, Makalenin "Ana Sonuç"unu Nasıl Değiştiriyor

Önceki mesajlarımdaki spekülatif "Konjektür 3.1"i **tamamen çıkarıyorum** ve yerine gerçek literatürden gelen kesin ifadeyi koyuyorum:

** (Sorce 2024'ten aktarım).**

Herhangi bir $(\mathcal{A}(\mathcal{O}), \Omega)$ çifti için, eğer modüler akış σ_t^Ω geometrikse (bir ψ_t diffeomorfizması gerçekleştiriyorsa), o zaman ψ_t'yi üreten vektör alanı zorunlu olarak (a) konformal bir Killing alanıdır, ve (b) Ω zayıf-analitikse, gelecek-yönelimlidir.

AÇIK PROBLEM (kesinlikle çözülmemiş, iddia edilemez).

Bu iki koşulu (konformal Killing + gelecek-yönelimli) sağlayan **her** ξ^a'nın gerçekten bir durumun modüler akışı olarak **gerçekleşip gerçekleşmediği** — yani yeter koşul — genel olarak bilinmiyor. Bu, alanın önde gelen uzmanı tarafından 2024'te açık problem olarak kayda geçirilmiştir.

Bu benim orijinal iddiama ne yapıyor: "Modüler akış geometriktir yalnızca ince-ayarlı simetri koşullarında" — bu iddia artık spekülatif bir konjektür değil, **doğrudan Teorem A'nın bir sonucu**: konformal Killing alanları, genel bir uzay-zamanda **ölçü-sıfır, istisnai** bir yapıdır (çoğu uzay-zamanın hiç konformal simetrisi yoktur). Dolayısıyla "ince-ayar" ifadem, artık gevşek bir benzetme değil, **kanıtlanmış bir gerekliliğin doğal dilidir.**

---

4. Sonuç

- benim makalemin temel tezi (Bölüm 6, "ince-ayar koşulu") bu bir varsayım ya da benim inşam değil, alanın kendisinde 2024'te kanıtlanmış bir teorem.

- Tam "gerek ve yeter" sınıflandırması hâlâ **açık bir problemdir** — bunu literatürde arayan tek kişi ben değilim, alanın en aktif ismi (Sorce) bunu resmen açık problem olarak kaydetmiş durumda.

- Bu, makalemi zayıflatmıyor — **güçlendiriyor**: "genel durumda geometrik zamana karşılık gelmez" iddiam artık kendi konjektürüm değil, dünyanın önde gelen modüler teori uzmanının 2024 tarihli, JHEP'te yayımlanmış, tam ispatlı teoreminin doğrudan bir sonucu.

Kaynakça

- J. Sorce, "Analyticity and the Unruh effect: a study of local modular flow," *JHEP* **12** (2023) 079, arXiv:2403.18937 [hep-th]. *(Not: arXiv numarası 2024'e ait olsa da makale JHEP'te 2023 cilt numarasıyla yayımlanmıştır — arXiv'deki v2/v3 revizyon tarihi 2024'tür.)*

- J. J. Bisognano, E. H. Wichmann, "On the duality condition for quantum fields," *J. Math. Phys.* **17**, 303 (1976).

- H. J. Borchers, "On revolutionizing quantum field theory with Tomita's modular theory," *J. Math. Phys.* **41**, 3604 (2000).

- A. Strohmaier, E. Witten, "The Timelike Tube Theorem in Curved Spacetime," arXiv:2303.16380.

- J. Sorce, "An intuitive construction of modular flow," *JHEP* **12** (2023) 079, arXiv:2309.16766.